

**STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA  
SISI PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 60 MVA  
GARDU INDUK JAJAR 150 KV**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**YUSUF ALFIANTO**

**D400 150 123**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2019**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA  
SISI PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 60 MVA  
GARDU INDUK JAJAR 150 KV**

**PUBLIKASI ILMIAH**


oleh:

**YUSUF ALFIANTO**

**D400 150 123**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**UMAR, S.T., M.T**  
**NIK. 731**

## HALAMAN PENGESAHAN

# STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA SISI PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 60 MVA GARDU INDUK JAJAR 150 KV

OLEH

YUSUF ALFIANTO

D400 150 123

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Sabtu, 4 Mei 2019  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T, M.T  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Hasyim Asy'ari, S.T, M.T  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Agus Supardi, S.T, M.T  
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)



Dekan,

E. Sri Sunarjono, M.T, Ph. D

NIK. 628

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 4 Mei 2019

Penulis



**YUSUF ALFIANTO**

**D400 150 123**

# **STUDI PENENTUAN KAPASITAS PEMUTUS TENAGA SISI PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 60 MVA GARDU INDUK JAJAR 150 KV**

## **Abstrak**

Distribusi tenaga listrik merupakan komponen penting dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai media penyuplai energi listrik dari pembangkit hingga ke pelanggan. Saat beroperasi, sistem distribusi sering mengalami gangguan terutama gangguan hubung singkat sehingga sangat diperlukan pengamanan. Pengaman berfungsi melindungi peralatan sistem yang mahal seperti transformator tenaga. Salah satu pengamanan sistem distribusi adalah Pemutus Tenaga (PMT). Pemutus Tenaga adalah peralatan switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban saat kondisi abnormal sesuai dengan ratingnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas pemutus tenaga (PMT) yang dipakai Gardu Induk Jajar dengan metode menghitung arus hubung singkat 3 fasa dikarenakan nilai arus tersebut merupakan nilai arus tertinggi. Ada 2 bagian hubung singkat 3 fasa yang dihitung yaitu hubung singkat pada busbar 20 kV, dan pada penyulang. Kemudian akan dilakukan simulasi dengan menggunakan ETAP 12.6 sebagai perbandingan dengan hasil perhitungan arus hubung singkat. Setelah dilakukan perhitungan didapat nilai arus busbar 20 kV sebesar 12.412 kA dan penyulang sebesar 9.216 kA kemudian pada ETAP 12.6 didapatkan hasil pada busbar 20 kV sebesar 12.445 kA dan pada penyulang sebesar 9.229 kA. Sehingga terdapat selisih antara perhitungan matematis dan ETAP 12.6, selisih pada busbar 20 kV sebesar 0.033 kA dan penyulang sebesar 0.013 kA. Berdasarkan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa circuit breaker, maka kapasitas CB pada busbar 20 kV adalah 20 kA, dan kapasitas CB pada penyulang adalah 17 kA.

**Kata Kunci:** Distribusi 20 kV, Rating pemutus tenaga, Arus hubung singkat, ETAP 12.6.

## **Abstract**

Distribution of electric power is an important component of an electric power system that functions as a medium for supplying electrical energy from the plant to the customer. When operating, the distribution system often experiences interference, especially short circuit interruption, so protection is needed. Protection has functions to protect expensive system equipment such as power transformers. One of the protection of the distribution system is Circuit Breaker (CB). Circuit Breaker are mechanical switching equipment, capable of closing, flowing and disconnecting load currents under normal conditions according to their rating and being able to close, drain and disconnect the load current when abnormal conditions are in accordance with the rating.. The purpose of this study was to find out the capacity of CB (circuit breaker) used on Jajar Substation with a method of calculating 3 phase short circuit current because the current value is the highest current value. There are 2 parts of the 3 phase short circuit that are calculated, namely the short circuit current on the 20 kV busbar, and on feeder. After that it will be simulated using ETAP 12.6 as a comparisons in the calculation of short circuit currents. After calculation, the value current of the busbar 20 kV is 12.412 kA and the feeder is 9.216 kA, then in ETAP 12.6 the results of the busbar 20 kV are 12.445 kA and the feeder is 9.229 kA. So that there is a difference between mathematical calculations and ETAP 12.6, the difference on 20 kV busbar is 0.033 kA and at feeders is 0.013 kA. Based on the calculation of the 3 phase short circuit breaker current, the CB capacity of the 20 kV busbar is 20 kA, and the CB capacity of the feeder is 17 kA.

**Keywords:** Distribution 20 kV, Rating CB, Short circuit current, ETAP 12.6.

## 1. PENDAHULUAN

Distribusi tenaga listrik merupakan komponen penting dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai media penyuplai energi listrik dari pembangkit hingga ke pelanggan. Dalam keadaan operasi, salah satu penyebab berhentinya pelayanan daya ke konsumen dikarenakan adanya gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Pada sistem distribusi listrik diperoleh data bahwa 70% sampai 80% gangguan yang terjadi bersifat permanen yaitu gangguan yang dapat diperbaiki maupun dihilangkan setelah komponen yang terganggu terisolir dengan bekerjanya circuit breaker (Hutauruk, 1985). Oleh karena itu dibutuhkan peralatan proteksi yang dapat melindungi sistem dan peralatan sistem terutama pada Gardu Induk. Proteksi yang ada pada sistem tenaga listrik minimal terdiri dari relay, transformator instrumen dan pemutus tenaga atau biasa disebut circuit breaker (CB). Salah satu cara mengurangi atau meminimalisir kerusakan yang terjadi pada sistem dengan memasang pemutus tenaga (PMT) (E.Liu, 2008).

Pemutus Tenaga (PMT) adalah peralatan switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban saat kondisi abnormal sesuai dengan ratingnya. Menurut analisis Kaloudas et al (2011) Sistem proteksi yang digunakan pada suatu sistem tenaga listrik akan mempengaruhi nilai keandalan dan kemampuan sistem dalam melayani konsumen.

Gokulpure (2015) berpendapat jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran 3 fasa adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat terdiri dari gangguan simetris dan tidak simetris. Gangguan simetris dapat dibedakan berupa gangguan tiga fasa simetris, sedangkan gangguan tidak simetris dapat meliputi gangguan tunggal satu fasa ke tanah, gangguan ganda, dan gangguan ganda ke tanah, (Turan Gonen, 1986). Hubung singkat disebabkan terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung dan tidak langsung melalui media (resistor atau beban), sehingga menyebabkan aliran arus tidak normal (Tirza, 2013).

Lewat sebuah analisis yang telah dikerjakan Debniloy De (2014) bahwa perhitungan arus pendek dilakukan untuk melindungi sistem dari kerusakan dan membatasi arus di sistem. Analisis arus hubung singkat dilakukan untuk menentukan pilihan perangkat proteksi yang tepat, memilih peralatan interupsi yang efisien dan verifikasi kecukupan yang ada. Sesuai yang ditulis Kaur (2016) bahwa pemahaman yang baik tentang rating memungkinkan untuk membuat keputusan yang tepat dalam perbandingan berbagai desain pemutus arus.

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan perhitungan untuk menentukan arus hubung singkat 3 fasa berdasarkan data yang dikumpulkan di lapangan, kemudian membandingkannya dengan hasil

simulasi software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) 12.6 dan menentukan kapasitas pemutus tenaga yang bertujuan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi.

## 2. METODE

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian yang penulis lakukan sebagai berikut:

### 2.1 Studi Literatur

Mengumpulkan referensi dari buku, artikel, jurnal, dan lain sebagainya yang berkaitan dengan tema skripsi sebagai rujukan untuk memperlancar dan mempermudah penyelesaian penelitian.

### 2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di gardu induk 150 kV Jajar dan PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta. Data yang diperlukan mencakup single line diagram, data teknis transformator, data teknis penyulang, serta data pemutus tenaga terpasang.

### 2.3 Analisis Data

Memeriksa dan mengecek data yang diperoleh dari gardu induk 150 kV Jajar dan PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta untuk memastikan data sudah lengkap.

### 2.4 Analisis Perhitungan

Menghitung nilai arus hubung singkat 3 fasa pada busbar 20 kV dan penyulang kemudian menentukan nilai kapasitas pemutus tenaga (PMT) sesuai dengan ratingnya.

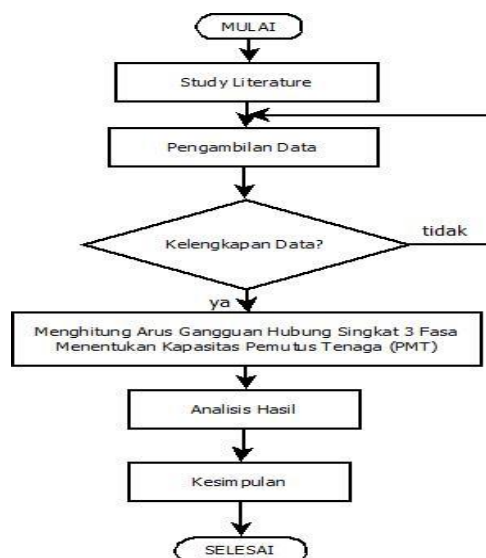
### 2.5 Pemodelan Sistem Gardu Induk Jajar dengan Etap 12.6

Membuat single line diagram sistem berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta dan Gardu Induk Jajar 150 kV untuk simulasi menggunakan ETAP 12.6.

### 2.6 Analisis Hasil

Membandingkan hasil perhitungan matematis dengan hasil simulasi ETAP 12.6.

### 2.7 Flowchart



Gambar 1. Flowchart Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data sebagai berikut:

Tabel 1. Data transformator daya 2 Jajar

Data Trafo Tenaga	
Merk	XIAN
Kapasitas daya	60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Impedansi	13, 37 %

Tabel 2. Data penghantar penyulang transformator daya 2 Jajar

Data Penghantar	
Jenis	AAAC
Ukuran	240mm <sup>2</sup>
Impedansi urutan positif	0.1344 + j0.3158

#### 3.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Menghitung nilai impedansi sumber di sisi Busbar 20 KV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di Busbar 150 kV. Menurut Kersting (2002:291), dengan menggunakan MVA hubung – singkat tiga fasa, impedansi ekivalen sistem urutan positif dan negatif dalam ohm dapat dihitung, diketahui:

$$MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$$

$$kV_{base} = 150 \text{ kV}$$

Perhitungan impedansi sumber sebagai berikut:

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}} \Omega \dots\dots\dots(1)$$

$$Z_{base} = \frac{150^2 \text{ kV}}{100 \text{ MVA}} \Omega = 225 \Omega$$

Data arus hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Jajar adalah 40 kA. Sehingga MVA hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Jajar:

$$MVA_{sc3\phi} = \sqrt{3} \times I_{sc3\phi} \times kV_{base} \dots\dots\dots(2)$$

$$MVA_{sc3\phi} = \sqrt{3} \times 40 \text{ kA} \times 150 \text{ kV}$$

$$MVA_{sc3\phi} = 10392.30485 \text{ MVA}$$

Impedansi sumber urutan positif dan negatif pada sisi primer Gardu Induk Jajar:

$$X_{s1} = X_{s2} = j \frac{kV_{base}^2}{MVA_{sc3\phi}} \Omega \dots\dots\dots(3)$$

$$X_{s1} = X_{s2} = j \frac{150^2 \text{ kV}}{10392.30485 \text{ MVA}} \Omega$$

$$X_{s1} = X_{s2} = j2.1651 \Omega$$



$$X_{s1} = X_{s2} = j \frac{2.1651 \text{ ohm}}{Z_{\text{base}}} = j \frac{2.1651 \text{ ohm}}{225 \text{ ohm}} = j0.00963 \text{ pu}$$

### 3.2 Perhitungan Reaktansi Transformator

Reaktansi transformator daya 2 Gardu Induk Jajar adalah  $X_T = j0.1337$ . Nilai reaktansi urutan positif transformator daya 2 dengan daya dasar 100 MVA adalah:

$$X_{T1} = X_{T2} = X_T \times \frac{\text{MVA}_{\text{new}}}{\text{MVA}_{\text{old}}} \times \frac{\text{kV}_{\text{old}}^2}{\text{kV}_{\text{new}}^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$X_{T1} = X_{T2} = j0.1337 \times \frac{100 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times \frac{150^2 \text{ kV}}{150^2 \text{ kV}}$$

$$X_{T1} = X_{T2} = j0.22283 \text{ pu}$$

### 3.3 Perhitungan Impedansi Penyulang

Impedansi dasar pada sisi sekunder (20 kV).

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{\text{kV}^2}{\text{MVA}_{\text{base}}} \Omega$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{20 \text{ kV}^2}{100 \text{ MVA}} \Omega = 4 \Omega$$

Diketahui: Semua penyulang pada tranfsormator daya 2 Jajar menggunakan kabel A3C 240mm<sup>2</sup>

Perhitungan impedansi urutan positif dan impedansi urutan negatif penyulang:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{Z_{\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}} \text{ (pu)} \dots\dots\dots(5)$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{0.1344 + j0.3158}{4 \Omega} \text{ (pu)}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0.0336 + j0.078951 \text{ pu}$$

### 3.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus hubung singkat 3 fasa yang dihitung terjadi pada busbar 20 kV dan penyulang. Tegangan sumber diasumsikan sebesar 1,0 pu sehingga arus hubung – singkat 3 fasa dapat dihitung dalam satuan per unit (pu) dengan uraian sebagai berikut:

Arus dasar sisi 20 kV:

$$I_{\text{dasar}} = \frac{\text{MVA}_{\text{base}} \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{kV}_{\text{dasar}}} \text{ A}$$

$$I_{\text{dasar}} = \frac{100 \text{ MVA} \times 1000}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} \text{ A} = 2886.8 \text{ A}$$

#### 3.4.1 Busbar 20 kV

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_1} \text{ pu} \dots\dots\dots(6)$$

$$I_{3\phi} = \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}}} \text{ pu}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.00963 + j0.22283} \text{ pu}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.23256} \text{ pu} = \frac{1\angle 0^\circ}{0.23256\angle 90^\circ} \text{ pu} = 4.2999\angle -90^\circ \text{ pu}$$

Maka arus hubung singkatnya:

$$I_{hs3\phi} = I_{\text{dasar}} \times I_{3\phi}$$

$$I_{hs3\phi} = 2886.8 \text{ A} \times 4.2999 \text{ pu} = 12.412 \text{ kA}$$

### 3.4.2 Penyulang

$$I_{3\phi} = \frac{V_f}{Z_{1eq}} \text{ pu} \dots\dots\dots(7)$$

$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{Z_{\text{sumber}} + Z_{\text{trafo}} + Z_{\text{penyulang}}} \text{ pu}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.00963 + j0.22283 + 0.0336 + j0.078951} \text{ pu}$$

$$I_{3\phi} = \frac{1\angle 0^\circ}{0.0336 + j0.31141} \text{ pu} = 3.1927\angle -83^\circ \text{ pu}$$

Karena setiap penyulang memiliki nilai impedansi yang sama maka nilai arus hubung singkatnya:

$$I_{hs3\phi} = I_{\text{dasar}} \times I_{3\phi}$$

$$I_{hs3\phi} = 2886.8 \text{ A} \times 3.1927 \text{ pu} = 9.216 \text{ kA}$$

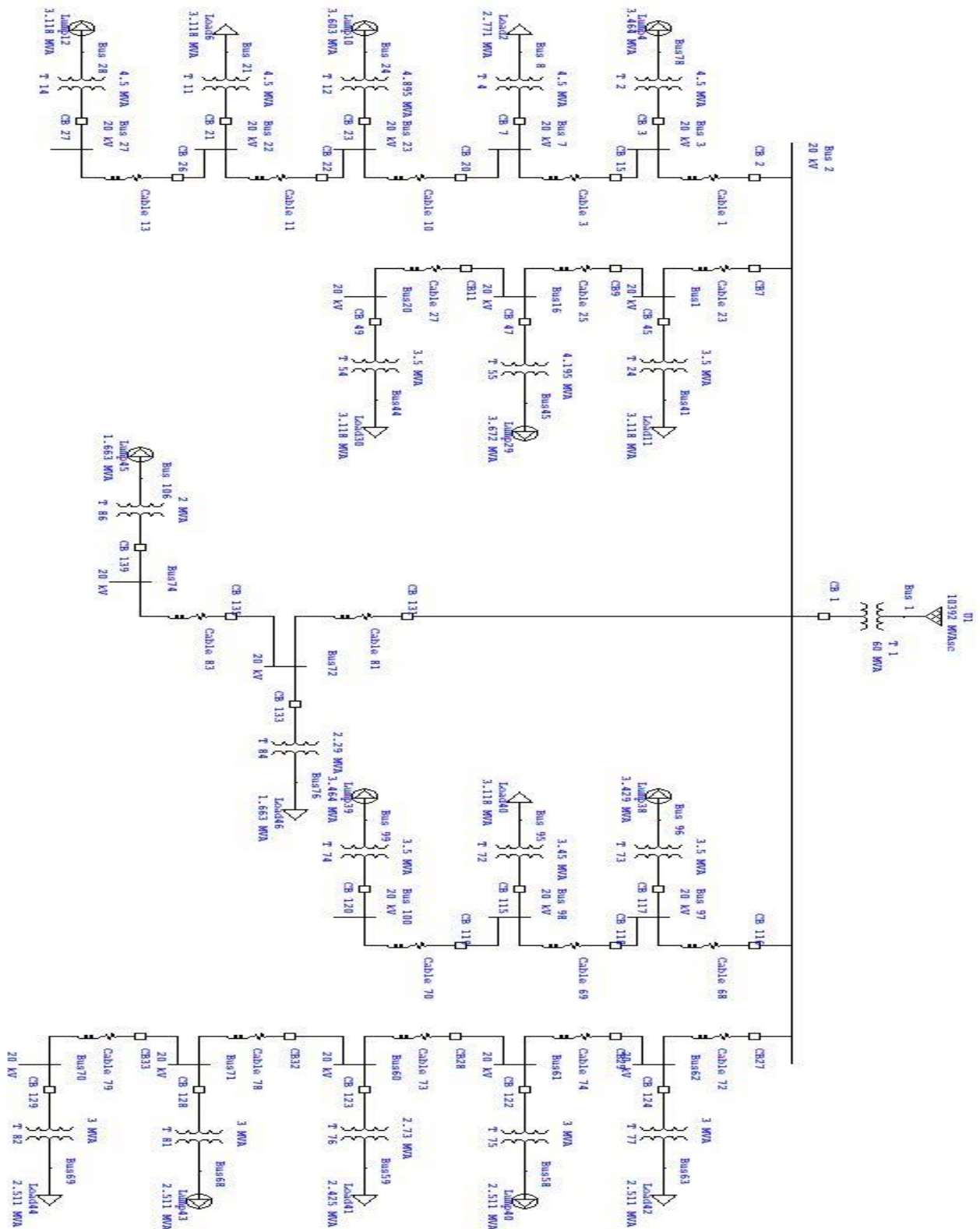
Nilai arus gangguan dipengaruhi oleh nilai impedansi dan panjang saluran, nilai impedansi berpengaruh terhadap hasil besaran nilai arus gangguan pada saluran. Panjang penghantar sangat berpengaruh terhadap besaran impedansi saluran, semakin panjang saluran maka semakin besar pula impedansi dan berbanding terbalik dengan nilai arus gangguan hubung singkatnya.

### 3.5 Mencari Arus Hubung Singkat Menggunakan ETAP 12.6

Data didapatkan dari gardu induk 150 kV Jajar dan PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta. Transformator daya 2 pada gardu induk Jajar 150 kV memiliki lima penyulang. Simulasi ETAP 12.6 digunakan untuk mencari nilai arus hubung singkat 3 fasa yang terjadi pada busbar 20 kV dan penyulang. Simulasi ini menggunakan mode short circuit analysis dengan standart ANSI dan frekuensi 50 Hz.

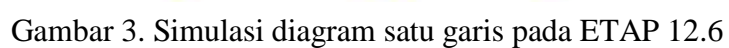
Tabel 3. Data teknis penyulang transformator daya 2 Jajar

No	Trafo	Gardu	Penyulang	Panjang	Penghantar	Penyulang	Daya Trafo
1	2	J	JJR03	36.9	A3C 240mm <sup>2</sup>	464	22,895 kVA
2		A	JJR05	15.8	A3C 240mm <sup>2</sup>	286	11,195 kVA
3		J	JJR07	36.7	A3C 240mm <sup>2</sup>	98	4,290 kVA
4		A	JJR09	13.7	A3C 240mm <sup>2</sup>	289	10,455 kVA
5		R	JJR10	24.0	A3C 240mm <sup>2</sup>	360	14,730 kVA



Gambar 2. Single line diagram pada ETAP 12.6

Pembahasan gambar 2, gambar tersebut merupakan simulasi untuk mencari nilai arus ubung singkat menggunakan ETAP 12.6 dengan mode short circuit analysis. Simulasi bertujuan untuk mengetahui arus gangguan hubung singkat meliputi gangguan 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah dan 1 fasa ke tanah pada busbar 20 kV dan penyulang JJR03, JJR05, JJR07, JJR09, serta JJR10.



## Hasil simulasi ETAP 12.6

Tabel 4. Hasil *Report* kinerja beban pada penyulang

### Lumped Load Input Data

Lumped Load						Motor Loads						Static Loads		
Lumped Load ID	Connected Bus ID	Rating		% Load		Loading		X/R Ratio		% Imp. (Machine Base)			Loading	
		kVA	kV	MTR	STAT	kW	kvar	X'/R	X"/R	R	X"	X'	kW	kvar
Lump4	Bus78	3464.1	0.380	75	25	2208.4	1368.6	2.38	2.38	6.464	15.38	23.08	736.12	456.21
Lump10	Bus 24	3602.7	0.380	25	75	765.6	474.5	2.38	2.38	7.757	18.46	46.15	2296.70	1423.37
Lump12	Bus 28	3117.7	0.380	50	50	1325.0	821.2	2.38	2.38	6.464	15.38	23.08	1325.02	821.17
Lump29	Bus45	3671.9	0.380	50	50	1560.6	967.2	2.38	2.38	7.003	16.67	25.00	1560.58	967.16
Lump38	Bus 96	3429.5	0.380	75	25	2186.3	1354.9	2.38	2.38	6.464	15.38	23.08	728.76	451.65
Lump39	Bus 99	3464.1	0.380	25	75	736.1	456.2	2.38	2.38	7.757	18.46	46.15	2208.37	1368.62
Lump40	Bus58	2511.5	0.380	10	90	213.5	132.3	2.38	2.38	7.003	16.67	25.00	1921.28	1190.70
Lump43	Bus68	2511.5	0.380	90	10	1921.3	1190.7	2.38	2.38	7.003	16.67	25.00	213.48	132.30
Lump45	Bus 106	1662.8	0.380	50	50	706.7	438.0	2.38	2.38	7.757	18.46	46.15	706.68	437.96

Tabel 5. Hasil *Report* arus hubung singkat pada busbar 20 kV dan penyulang

### Short-Circuit Summary Report

1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.	Real	Imag.	Mag.
Bus1	20.00	2.540	-8.732	9.094	2.008	-6.623	6.921	7.563	2.200	7.876	-8.391	0.467	8.404
Bus 2	20.00	2.926	-12.096	12.445	4.438	-12.430	13.199	10.475	2.534	10.777	-13.557	3.676	14.047
Bus 3	20.00	2.596	-8.856	9.229	1.985	-6.567	6.861	7.669	2.248	7.992	-8.472	0.361	8.480
Bus 7	20.00	2.181	-6.692	7.038	1.196	-4.248	4.413	5.795	1.889	6.095	5.389	3.443	6.395
Bus16	20.00	2.054	-6.262	6.590	1.110	-3.974	4.126	5.423	1.779	5.707	5.049	3.232	5.995
Bus20	20.00	1.652	-4.632	4.911	0.723	-2.693	2.788	4.012	1.413	4.253	3.788	2.359	4.463
Bus 22	20.00	1.469	-4.001	4.262	0.561	-2.142	2.214	3.465	1.273	3.691	3.300	2.000	3.859
Bus 23	20.00	1.767	-5.021	5.323	0.766	-2.851	2.952	4.348	1.530	4.610	4.113	2.522	4.824
Bus 27	20.00	1.313	-3.503	3.741	0.471	-1.820	1.881	3.034	1.137	3.240	2.898	1.749	3.385
Bus60	20.00	1.722	-4.955	5.246	0.773	-2.874	2.976	4.291	1.492	4.543	4.051	2.501	4.760
Bus61	20.00	2.075	-6.353	6.683	1.128	-4.056	4.191	5.502	1.797	5.788	5.120	3.274	6.077
Bus62	20.00	2.563	-8.869	9.232	2.065	-6.782	7.089	7.681	2.219	7.995	-8.543	0.525	8.559
Bus70	20.00	1.264	-3.406	3.632	0.472	-1.818	1.878	2.949	1.094	3.146	2.812	1.711	3.292
Bus71	20.00	1.470	-4.076	4.333	0.587	-2.235	2.311	3.530	1.273	3.753	3.355	2.040	3.926
Bus72	20.00	2.528	-8.678	9.039	2.003	-6.603	6.900	7.516	2.189	7.828	-8.343	0.474	8.357
Bus74	20.00	1.680	-4.802	5.088	0.761	-2.821	2.922	4.159	1.455	4.406	3.921	2.450	4.624
Bus 97	20.00	2.566	-8.779	9.146	1.991	-6.580	6.874	7.603	2.222	7.921	-8.415	0.409	8.425
Bus 98	20.00	1.987	-5.947	6.270	1.025	-3.698	3.837	5.150	1.720	5.430	4.811	3.059	5.702
Bus 100	20.00	1.649	-4.665	4.948	0.722	-2.690	2.785	4.040	1.428	4.285	3.818	2.370	4.493

Tabel 5 merupakan hasil lengkap simulasi arus hubung singkat pada ETAP dengan 4 tipe fault (gangguan) mulai dari gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 2 fasa ke tanah dan 1 fasa ke tanah. Berdasarkan gambar dapat dilihat nilai arus hubung singkat pada busbar 20 kV sebesar 12.445 kA dan masing-masing penyulang nilai arus hubung singkatnya mulai dari JJR03 sebesar 9.229 kA, JJR05 sebesar 9.094 kA, JJR07 sebesar 9.039 kA, JJR09 sebesar 9.146 kA dan JJR10 sebesar 9.232 kA. Nilai arus yang berbeda dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya nilai impedansi penghantar, beban trafo, dan panjang atau jarak.

Tabel 6. Hasil *Report* kinerja PMT pada busbar 20 kV dan penyulang

Momentary Duty Summary Report

3-Phase Fault Currents: (Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage)

Bus		Device		Momentary Duty					Device Capability		
ID	kV	ID	Type	Symm. kA rms	X/R Ratio	M.F.	Asymm. kA rms	Asymm. kA Peak	Symm. kA rms	Asymm. kA rms	Asymm. kA Peak
Bus1	20.000	Bus1	Bus	9.094	3.5	1.155	10.502	18.113			
	20.000	CB 45	3 cy Sym CB	9.094	3.5	1.155	10.502	18.113		20.000	32.400
	20.000	CB9	3 cy Sym CB	9.094	3.5	1.155	10.502	18.113		20.000	32.400
Bus 2	20.000	Bus 2	Bus	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048			
	20.000	CB 1	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	CB 2	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	CB7	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	CB 131	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	CB 116	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	CB27	3 cy Sym CB	12.445	4.3	1.209	15.042	26.048		20.000	32.400
	20.000	Bus 3	Bus	9.229	3.5	1.153	10.637	18.341			
Bus 3	20.000	CB 3	3 cy Sym CB	9.229	3.5	1.153	10.637	18.341		20.000	32.400
	20.000	CB 15	3 cy Sym CB	9.229	3.5	1.153	10.637	18.341		20.000	32.400
Bus 7	20.000	Bus 7	Bus	7.038	3.1	1.125	7.915	13.575			
	20.000	CB 7	3 cy Sym CB	7.038	3.1	1.125	7.915	13.575		20.000	32.400
	20.000	CB 20	3 cy Sym CB	7.038	3.1	1.125	7.915	13.575		20.000	32.400
Bus16	20.000	Bus16	Bus	6.590	3.1	1.123	7.401	12.688			
	20.000	CB 47	3 cy Sym CB	6.590	3.1	1.123	7.401	12.688		20.000	32.400
	20.000	CB11	3 cy Sym CB	6.590	3.1	1.123	7.401	12.688		20.000	32.400
Bus20	20.000	Bus20	Bus	4.911	2.9	1.106	5.431	9.263			
	20.000	CB 49	3 cy Sym CB	4.911	2.9	1.106	5.431	9.263		20.000	32.400
Bus 22	20.000	Bus 22	Bus	4.262	2.7	1.096	4.672	7.942			
	20.000	CB 21	3 cy Sym CB	4.262	2.7	1.096	4.672	7.942		20.000	32.400
	20.000	CB 26	3 cy Sym CB	4.262	2.7	1.096	4.672	7.942		20.000	32.400
Bus 23	20.000	Bus 23	Bus	5.323	2.9	1.106	5.887	10.043			
	20.000	CB 23	3 cy Sym CB	5.323	2.9	1.106	5.887	10.043		20.000	32.400
	20.000	CB 22	3 cy Sym CB	5.323	2.9	1.106	5.887	10.043		20.000	32.400
Bus 27	20.000	Bus 27	Bus	3.741	2.7	1.092	4.084	6.930			
	20.000	CB 27	3 cy Sym CB	3.741	2.7	1.092	4.084	6.930		20.000	32.400
Bus60	20.000	Bus60	Bus	5.246	2.9	1.109	5.817	9.932			
	20.000	CB 123	3 cy Sym CB	5.246	2.9	1.109	5.817	9.932		20.000	32.400
	20.000	CB32	3 cy Sym CB	5.246	2.9	1.109	5.817	9.932		20.000	32.400
Bus61	20.000	Bus61	Bus	6.683	3.1	1.124	7.512	12.881			
	20.000	CB 122	3 cy Sym CB	6.683	3.1	1.124	7.512	12.881		20.000	32.400



Bus61	20.000	CB28	3 cy Sym CB	6.683	3.1	1.124	7.512	12.881		20.000	32.400
Bus62	20.000	Bus62	Bus	9.232	3.5	1.157	10.678	18.421			
	20.000	CB 124	3 cy Sym CB	9.232	3.5	1.157	10.678	18.421		20.000	32.400
	20.000	CB29	3 cy Sym CB	9.232	3.5	1.157	10.678	18.421		20.000	32.400
Bus70	20.000	Bus70	Bus	3.632	2.7	1.094	3.974	6.748			
	20.000	CB 129	3 cy Sym CB	3.632	2.7	1.094	3.974	6.748		20.000	32.400
Bus71	20.000	Bus71	Bus	4.333	2.8	1.100	4.768	8.116			
	20.000	CB 128	3 cy Sym CB	4.333	2.8	1.100	4.768	8.116		20.000	32.400
	20.000	CB33	3 cy Sym CB	4.333	2.8	1.100	4.768	8.116		20.000	32.400
Bus72	20.000	Bus72	Bus	9.039	3.5	1.155	10.435	17.998			
	20.000	CB 133	3 cy Sym CB	9.039	3.5	1.155	10.435	17.998		20.000	32.400
	20.000	CB 135	3 cy Sym CB	9.039	3.5	1.155	10.435	17.998		20.000	32.400
Bus74	20.000	Bus74	Bus	5.088	2.9	1.107	5.634	9.616			
	20.000	CB 139	3 cy Sym CB	5.088	2.9	1.107	5.634	9.616		20.000	32.400
Bus 97	20.000	Bus 97	Bus	9.146	3.5	1.153	10.550	18.193			
	20.000	CB 117	3 cy Sym CB	9.146	3.5	1.153	10.550	18.193		20.000	32.400
	20.000	CB 118	3 cy Sym CB	9.146	3.5	1.153	10.550	18.193		20.000	32.400
Bus 98	20.000	Bus 98	Bus	6.270	3.0	1.119	7.013	12.009			
	20.000	CB 115	3 cy Sym CB	6.270	3.0	1.119	7.013	12.009		20.000	32.400
	20.000	CB 119	3 cy Sym CB	6.270	3.0	1.119	7.013	12.009		20.000	32.400
Bus 100	20.000	Bus 100	Bus	4.948	2.9	1.105	5.467	9.324			
	20.000	CB 120	3 cy Sym CB	4.948	2.9	1.105	5.467	9.324		20.000	32.400

Tabel 7. Hasil *Report* kinerja PMT terhadap arus hubung singkat pada busbar 20 kV dan penyulang

Interrupting Duty Summary Report

3-Phase Fault Currents: (Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage)

Bus		Device		Interrupting Duty					Device Capability			
ID	kV	ID	Type	CPT (Cy)	Symm. kA rms	X/R Ratio	M.F.	Adj. Sym. kA rms	kV	Test PF	Rated Int.	Adjusted Int.
Bus1	20.000	CB 45	3 cy Sym CB	2.0	8.762	3.6	1.000	8.762	20.000		12.000	12.000
		CB9	3 cy Sym CB	2.0	8.762	3.6	1.000	8.762	20.000		12.000	12.000
Bus 2	20.000	CB 1	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
		CB 2	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
		CB7	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
		CB 131	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
		CB 116	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
		CB27	3 cy Sym CB	2.0	11.870	4.4	1.000	11.870	20.000		12.000	12.000
Bus 3	20.000	CB 3	3 cy Sym CB	2.0	8.806	3.5	1.000	8.806	20.000		12.000	12.000
		CB 15	3 cy Sym CB	2.0	8.806	3.5	1.000	8.806	20.000		12.000	12.000
Bus 7	20.000	CB 7	3 cy Sym CB	2.0	6.736	3.2	1.000	6.736	20.000		12.000	12.000
		CB 20	3 cy Sym CB	2.0	6.736	3.2	1.000	6.736	20.000		12.000	12.000
Bus16	20.000	CB 47	3 cy Sym CB	2.0	6.389	3.1	1.000	6.389	20.000		12.000	12.000
		CB11	3 cy Sym CB	2.0	6.389	3.1	1.000	6.389	20.000		12.000	12.000
Bus20	20.000	CB 49	3 cy Sym CB	2.0	4.799	2.9	1.000	4.799	20.000		12.000	12.000
Bus 22	20.000	CB 21	3 cy Sym CB	2.0	4.088	2.8	1.000	4.088	20.000		12.000	12.000
		CB 26	3 cy Sym CB	2.0	4.088	2.8	1.000	4.088	20.000		12.000	12.000
Bus 23	20.000	CB 23	3 cy Sym CB	2.0	5.090	2.9	1.000	5.090	20.000		12.000	12.000
		CB 22	3 cy Sym CB	2.0	5.090	2.9	1.000	5.090	20.000		12.000	12.000
Bus 27	20.000	CB 27	3 cy Sym CB	2.0	3.590	2.7	1.000	3.590	20.000		12.000	12.000
Bus60	20.000	CB 123	3 cy Sym CB	2.0	5.097	2.9	1.000	5.097	20.000		12.000	12.000
		CB32	3 cy Sym CB	2.0	5.097	2.9	1.000	5.097	20.000		12.000	12.000
Bus61	20.000	CB 122	3 cy Sym CB	2.0	6.474	3.1	1.000	6.474	20.000		12.000	12.000
		CB28	3 cy Sym CB	2.0	6.474	3.1	1.000	6.474	20.000		12.000	12.000
Bus62	20.000	CB 124	3 cy Sym CB	2.0	8.889	3.6	1.000	8.889	20.000		12.000	12.000
		CB29	3 cy Sym CB	2.0	8.889	3.6	1.000	8.889	20.000		12.000	12.000

Bus70	20.000 CB 129	3 cy Sym CB	2.0	3.548	2.7	1.000	3.548	20.000	12.000	12.000
Bus71	20.000 CB 128	3 cy Sym CB	2.0	4.214	2.8	1.000	4.214	20.000	12.000	12.000
	CB33	3 cy Sym CB	2.0	4.214	2.8	1.000	4.214	20.000	12.000	12.000
Bus72	20.000 CB 133	3 cy Sym CB	2.0	8.708	3.6	1.000	8.708	20.000	12.000	12.000
	CB 135	3 cy Sym CB	2.0	8.708	3.6	1.000	8.708	20.000	12.000	12.000
Bus74	20.000 CB 139	3 cy Sym CB	2.0	4.943	2.9	1.000	4.943	20.000	12.000	12.000
Bus 97	20.000 CB 117	3 cy Sym CB	2.0	8.764	3.6	1.000	8.764	20.000	12.000	12.000
	CB 118	3 cy Sym CB	2.0	8.764	3.6	1.000	8.764	20.000	12.000	12.000
Bus 98	20.000 CB 115	3 cy Sym CB	2.0	6.055	3.1	1.000	6.055	20.000	12.000	12.000
	CB 119	3 cy Sym CB	2.0	6.055	3.1	1.000	6.055	20.000	12.000	12.000
Bus 100	20.000 CB 120	3 cy Sym CB	2.0	4.789	2.9	1.000	4.789	20.000	12.000	12.000

Tabel 8. Perbandingan perhitungan dengan simulasi ETAP 12.6

Perbandingan		
Hasil	Busbar 20 kV	Penyulang 20 kV
Perhitungan	12.412 kA	9.216 kA
ETAP 12.6	12.445 kA	9.229 kA

### 3.6 Penentuan Kapasitas Circuit Breaker

Rating arus circuit breaker adalah nilai arus total terbesar yang dapat diputuskan oleh circuit breaker. Besar nilai arus ini tergantung dari waktu membukanya alat pemutus daya. Arus simetris yang didapat kemudian dikalikan dengan faktor pengali. Faktor pengali tersebut besarnya tergantung dari waktu membukanya circuit breaker, pada penelitian ini penulis memilih waktu sesaat yang nilai faktor pengalinya sebesar 1.6.

#### 3.6.1 Perhitungan

1. Busbar 20 kV  $= I_{hs3\phi} \times \zeta$   
 $= 12.412 \text{ kA} \times 1.6 = 19.859 \text{ kA}$
2. Penyulang  $= I_{hs3\phi} \times \zeta$   
 $= 9.216 \text{ kA} \times 1.6 = 14.746 \text{ kA}$

#### 3.6.2 ETAP 12.6

1. Busbar 20 kV  $= I_{hs3\phi} \times \zeta$   
 $= 12.445 \text{ kA} \times 1.6 = 19.912 \text{ kA}$
2. Penyulang  $= I_{hs3\phi} \times \zeta$   
 $= 9.229 \text{ kA} \times 1.6 = 14.766 \text{ kA}$

Hasil perbandingan nilai arus pemutus tenaga (PMT) antara hasil perhitungan matematis dan hasil simulasi Etap 12.6 terdapat sedikit selisih yaitu pada busbar 20 kV sebesar 0.053 kA dengan hasil 19.859 kA dan 19.912 kA, sedangkan pada penyulang sebesar 0.020 kA dengan hasil 14.746 kA dan 14.766 kA. Berdasarkan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa circuit breaker, maka kapasitas



CB yang sesuai dengan rating tegangan dan standar PLN yaitu pada busbar 20 kV adalah 20 kA, dan pada penyulang adalah 16 kA.

Perbandingan kapasitas circuit breaker (PMT) berdasarkan perhitungan lebih kecil terhadap hasil pemilihan kapasitas yang terpasang (existing) circuit breaker (PMT), sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa circuit breaker (PMT) pada busbar 20 kV dan penyulang Gardu Induk Jajar yang terpasang (Existing) masih layak digunakan sebagai circuit breaker (PMT), dikarenakan nilai kapasitas circuit breaker yang terpasang pada Gardu Induk Jajar di busbar 20 kV sebesar 21 kA dan di penyulang sebesar 17 kA.

#### **4. PENUTUP**

Berdasarkan perhitungan matematis yang telah dilakukan pada busbar 20 kV dan penyulang Gardu Induk Jajar, diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Data arus hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Jajar adalah sebesar 40 kA yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Rayon Surakarta, berdasarkan data tersebut diperoleh MVA hubung singkat 3 fasa pada sisi primer Gardu Induk Jajar sebesar 10392.30485 MVA.
2. Berdasarkan MVA Hubung Singkat sisi primer Gardu Induk Jajar sebesar 10392.30485 MVA dengan daya dasar ( $MVA_{base}$ ) sebesar 100 MVA, maka diperoleh nilai ekivalen impedansi sumber Gardu Induk Jajar sebesar 0.00963 pu.
3. Berdasarkan hasil perhitungan transformator 60 MVA Gardu Induk Jajar, didapatkan nilai arus hubung singkat 3 fasa pada busbar 20 kV sebesar 12.412 kA dan penyulang sebesar 9.216 kA.
4. Berdasarkan perhitungan arus hubung singkat 3 fasa, kapasitas circuit breakaer (CB) pada busbar 20 kV sebesar 19.859 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia di pasaran dan sesuai standart PLN yaitu sebesar 20 kA, dan kapasitas circuit breakaer (CB) pada penyulang yaitu sebesar 14.746 kA dengan pemilihan PMT yang tersedia di pasaran dan sesuai standart PLN yaitu sebesar 16 kA.
5. Perbandingan kapasitas circuit breaker (PMT) berdasarkan perhitungan lebih kecil terhadap hasil pemilihan kapasitas yang terpasang (existing) circuit breaker (PMT), sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa circuit breaker (PMT) pada busbar 20 kV dan penyulang Gardu Induk Jajar yang terpasang (Existing) masih layak digunakan sebagai circuit breaker (PMT).

#### **PERSANTUNAN**

Penulis mengucapkan Alhamdulillah dan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan semangat, dan membantu penulis dalam penelitian skripsi sebagai berikut:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan inayah- Nya
2. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan nasehat, semangat dan do'a.

3. Dessy Wulandari dan Nur Fitri Ramadani selaku saudara kandung yang selalu memberikan motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Umar, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing dan ketua jurusan Teknik Elektro yang sudah memberi ilmu dan saran terkait dengan skripsi.
5. Semua Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro yang sudah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. PT PLN (Persero) Gardu Induk Jajar Surakarta dan Bapak Aji dan Bapak Dwi selaku pegawai PT PLN (Persero) Rayon Surakarta yang telah memberikan informasi izin dan informasi yang diperlukan penulis dalam proses pembuatan skripsi.
7. Indah, Agnes, Nisa, Mbak Nindy, Dian, Alvin, Sadam, Yusuf, Bolgha, Fuad, Dodi, Ridho, Lian, Kafa, Mas Amri, Sadewa, Hanif, Anugrah, Fizal, Hafiz, Dimas, Nafis, Nanda, Bayu, Mbak Ary, Pak Yoko, Mas Sigit, dan Mbak Rere penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya, karena sudah memberikan semangat dan motivasi serta bantuan selama mengerjakan skripsi.
8. Semua rekan-rekan Teknik Elektro angkatan 2015 yang telah memberikan semangat serta dukungannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ch G Kalaudos, dkk, 2011. *“Short-circuit Analysis of An Isolated Generator and Comparative Study of IEC, ANSI and dynamic simulation”* Agia Napa.
- E. Liu and J. Bebic GE Global Research. 2008. *“Distribution System Voltage Performance Analysis for High-Penetration Photovoltaic”*. Niskayuna, New York.
- Et al, Debnily De dkk. 2014. *“Short Circuit Analysis of a Power Grid using MiPower Software, ISSN 2231-1293, Volume 4, No 3, PP 253-258”*. India.
- Gokulpure, RK, Preeti Jain. 2015. *“Short Circuit Analysis of Six Bus Power System”*. India: International Journal for Scientific Research & Development Volume 3, Issue 05,20. 2016.
- Gonen, Turan. 1986. *“Electrical Power Distribution System Engineering”*. Mc-Graw-Hill Inc. United States of America. 1986.
- Gonen, Turan. 1988. *“Modern Power System Analysis”*. John Wiley & Sons Inc. United States of America. 1988.
- Kaur, K, Er. Simerpreet Singh. 2016. *“Calculation and Comparison Circuit Breaker Parameters in Power World Simulator, ISSN 2248-9622, Volume 6, No 2, PP 31-34”*. India: International Journal of Engineering Research and Applications .2016.
- Kersting H, William. 2002. *“Distribution System Modelling and Analysis”*. CRC Press: New Mexico. 2002.
- N. Tirza. 2014. *“Analisa Setting OCR Terhadap Arus Gangguan Pada Jaringan 150 KV Di Gardu Induk Tanggul”*. Jember.
- Stevenson JR, W. D. 1984. *“Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Ke Empat”*. Erlangga: Jakarta. 1984
- T, S. Hutahuruk, Prof, Ir, MSc. 1985. *“Transmisi Daya Listrik”*. Erlangga: Jakarta.